

VERGLEICH PERIOSTALER UND ENDOSTALER GEFÄSSEINTRITTE IN DIE
TIBIA-DIAPHYSE BEI VERSCHIEDENEN TIERARTEN

Jürgen WILHELM

1985

Diss
München



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554808_0076

Aus der Chirurgischen Klinik Innenstadt und Chirurgischen
Poliklinik der Ludwig Maximilians-Universität München
Direktor: Professor Dr. med. L. Schweiberer

VERGLEICH PERIOSTALER UND ENDOSTALER GEFÄSSEINTRITTE IN DIE
TIBIA-DIAPHYSE BEI VERSCHIEDENEN TIERARTEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Jürgen WILHELM

aus
München
1985

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Priv.Doiz.Dr. F. EITEL
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. SCHWEIBERER
Dekan:	Prof.Dr. W. SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 13.2.86

INHALTSVERZEICHNIS

1.	<u>EINLEITUNG</u>	1
2.	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	2
2.1.	Auswahl des Untersuchungsmaterials	2
2.2.	Herstellung der Präparate für das Rasterelektronenmikroskop	3
2.3.	Herstellung der Präparate für die histologische Beurteilung	7
2.4.	Untersuchungsmethoden	7
3.	<u>ERGEBNISSE</u>	11
3.1.	Zahl der Gefäßöffnungen an den Knochenoberflächen	11
3.2.	Größe der Gefäßöffnungen	17
3.3.	Form der Gefäßöffnungen	19
3.4.	Unentkalkte Dünnschnitte zur histologischen Beurteilung der Knochenstruktur	20
4.	<u>DISKUSSION</u>	27
5.	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	32
6.	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	34
7.	<u>DANKSAGUNG</u>	35
8.	<u>LEBENS LAUF</u>	36

VERGLEICH PERIOSTALER UND ENDOSTALER GEFÄSSEINTRITTE IN DIE
TIBIA-DIAPHYSE BEI VERSCHIEDENEN TIERARTEN

1. EINLEITUNG

Gegenstand der derzeitigen Diskussion ist unter anderem die Übertragbarkeit von Tierversuchen auf die Humansituation. Ein Kriterium für die Vergleichbarkeit der Spezies ergibt sich aus der Knochenstruktur. Es ist bekannt, daß die Knochenstruktur von Alter, Art und Rasse sowie der Lokalisation am Skelett abhängt (1).

Eine Ursache für die Variabilität der Knochenstruktur könnte in den unterschiedlichen Gefäßverteilungsmustern der verschiedenen Arten zu suchen sein. In der vorliegenden Arbeit wurde die Tibia untersucht, weil deren Gefäßanatomie durch zahlreiche Untersuchungen gut bekannt ist (2).

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit ist demnach, ob Form, Zahl und Größe der Gefäßkanäle an den endostalen und periostalen Oberflächen sich speziesabhängig unterscheiden.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Auswahl des Untersuchungsmaterials

Verwendet wurden 4 verschiedene Spezies: Kälber, Schweine, Schafe und Hunde. Bei den Huftieren handelte es sich um Schlachttiere verschiedenen Geschlechts im Alter von 6 Monaten bis zu 2 Jahren. Die Hunde waren Opfer von Verkehrsunfällen. Ihre Extremitäten wurden vom Pathologischen Institut der Tierklinik der Universität München zur Verfügung gestellt.

Um die Auswertung zu vereinfachen wurden die einzelnen Tiere in Beobachtungseinheiten (BE) von 1 bis 10 unterteilt. Es ergab sich folgende Aufstellung:

BE 1	KALB	10 Monate
BE 2	KALB	6 Monate
BE 3	SCHWEIN	6 Monate
BE 4	SCHWEIN	6 Monate
BE 5	SCHWEIN	6 Monate
BE 6	HAMMEL	2 Jahre
BE 7	HAMMEL	12 Monate
BE 8	EURASIER	7 Jahre
BE 9	PUDEL	10 Jahre
BE 10	BOXER	9 Jahre

2.2. Herstellung der Präparate für das Rasterelektronenmikroskop (REM)

Die Tibia wurde in ganzer Länge freipräpariert. Um Zufälligkeiten einzuschränken und um möglichst reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten erfolgte die Knochenentnahme jeweils an definierter Stelle in Tibiaschaftmitte. Nachdem mit einer Schieblehre die Diaphysenmitte bestimmt worden war wurde von dort nach proximal und distal ein Zentimeter ausgemessen und mit einer Laubsäge ein zwei Zentimeter langes Schaftsegment herausgesägt (Abb.1).

Dieses Segment wurde ca. 20 Minuten in eine mäßig siedende Seifenlauge gelegt und danach endostal mit einer Rundbürste und periostal vorsichtig mit einem Skalpell von den restlichen Weichteilen befreit. Es wurde mit warmen Wasser abgespült und luftgetrocknet. Aus dem trockenen Segment wurde der Länge nach mit einer feinen Laubsäge je nach Segmentdurchmesser ein 0,5-1 cm breiter meist dorsomedial gelegener Streifen herausgesägt. Dieser Bezirk, der die beste Weichteildeckung hatte wurde wegen der an dieser Stelle vermuteten guten Vaskularisierung ausgewählt. Er wurde letztlich in zwei ca. $0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$ große Teilstücke zersägt, die zur Dehydratation 24 Stunden in 100%igem Aceton aufbewahrt wurden (Abb.2).

Nach Lufttrocknung wurden diese Präparate mittels Leitsilber auf Aluminiumträgern befestigt, wobei einmal die periostale und einmal die endostale Seite nach oben gekehrt wurde. In einer Vakuumverdampfungsanlage wurden die Präparate mit einer dünnen Goldschicht überzogen. Diese Zurichtung war bei allen Präparaten gleich.

Die Vorbereitung der Knochenproben für das Rasterelektronenmikroskop sollte ursprünglich nach einem der von Rosenbauer beschriebenen Präparationsverfahren erfolgen (3).

Als sich herausstellte, daß durch Auskochen ausreichende Bildqualität mit vereinfachter Methode erreicht werden konnte, wurde dieses Verfahren bevorzugt. Zur Herstellung der unentkalkten Mikroschnitte erwiesen sich die durch Auskochen vorbereiteten Präparate als zu spröde. Zum Ausgleich wurden dickere Schnitte (0,05 mm) hergestellt.

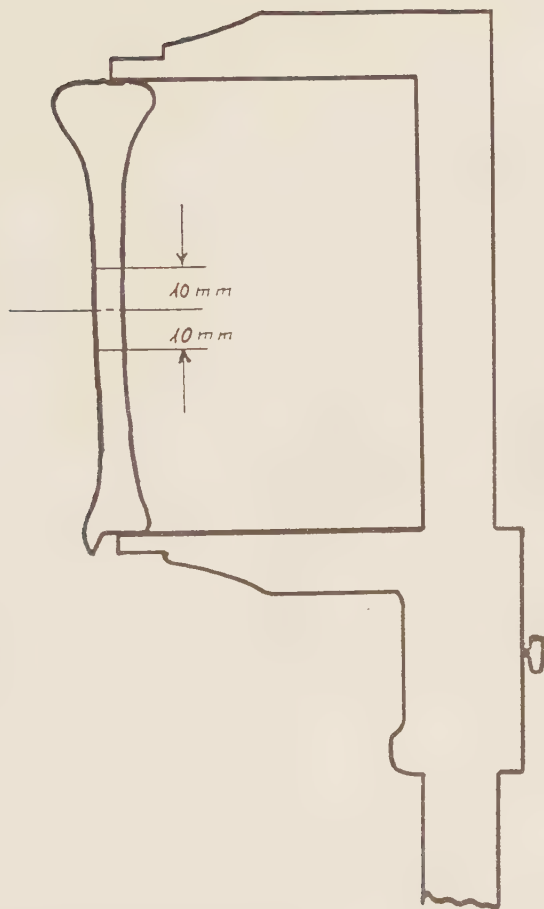


Abb. 1

Zur exakten Bestimmung der Tibia-Diaphysenmitte wird mit einer Schieblehre zuerst die Gesamtlänge des Knochens ermittelt. Von der Schaftmitte aus wird dann jeweils 1 cm nach distal und proximal ausgemessen.

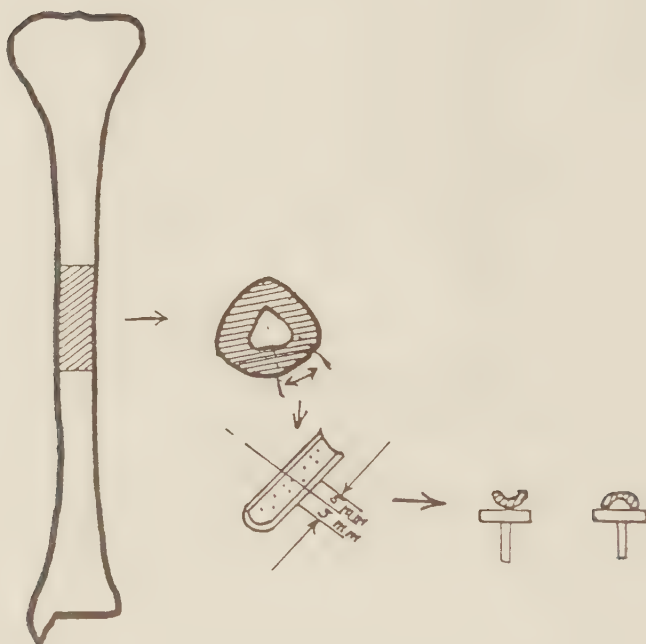


Abb. 2

Das Schaftsegment wird herausgesägt, gereinigt und getrocknet. Der Länge nach wird an der Stelle der ehemals besten Weichteildeckung dorsomedial ein 0,5-1 cm breiter Knochenstreifen herausgesägt. Da die Präparate entweder periostal oder endostal auf Aluminiumträgern befestigt werden, kann jeweils nur eine Oberfläche betrachtet werden. Von der Mitte des Knochenstreifens aus werden daher zwei ca 5x5 Quadratmillimeter große Präparate entnommen.

2.3. Herstellung der Präparate für die histologische Beurteilung

Alle Präparate wurden zunächst für die Betrachtung unter dem REM zugerichtet. Das nach der Entnahme des zu diesem Zweck herausgesägten Knochenanteils verbliebene Restsegment (Abb. 2) diente dann zur Entnahme von unentkalkten Knochendünnschnitten zur histologischen Kontrolle der Knochenstruktur.

Es wurde zur weiteren Entwässerung in 100%iges Methanol gelegt und dort 3 Tage belassen. Anschließend wurde es in einer mehrere Tage dauernden Prozedur in Methylmethacrylat, Plastoid N und getrocknetem Benzolperoxid gelegt. Die Polymerisation erfolgte im Wärmeschrank bei 30 Grad C während 2-3 Tagen.

Mit einer LEITZ Innenlochsäge (Modell 1600) wurden von den eingebetteten Proben Mikroschnitte mit 0,05 mm Dicke hergestellt. Sie wurden mit Eukitt auf Objektträger aufgezogen und gedeckt. Pro Spezies wurden 2-3 Mikroschnitte parallel und quer zur Knochenlängsachse gewonnen.

2.4. Untersuchungsmethoden

Die gewonnenen Präparate wurden mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM, Typ 96113, Mark 2A, Fa. CAMBRIDGE) in der Anatomischen Anstalt der Universität München untersucht. Mit dem REM besteht die Möglichkeit Oberflächen

räumlich darzustellen. Das Präparat kann auf einer Fernsehbildröhre direkt betrachtet und photographiert werden. Maßgebend für eine gute Bildqualität ist ein schräger Einfallswinkel des Primärstrahls. Bei einer Vergrößerung des Einfallswinkels steigt die für die Kontrastentstehung notwendige Menge der von dem Präparat reemittierten Elektronen an (4).

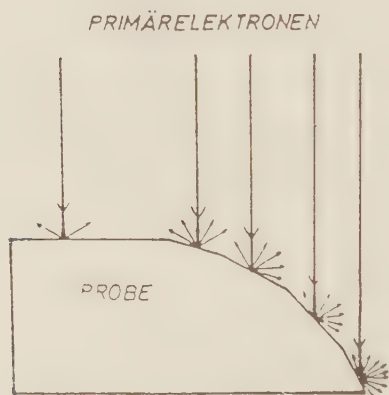


ABBILDUNG 3: Abhängigkeit der Anzahl reemittierter Elektronen vom Einfallswinkel des Primärstrahls (aus Rasterelektronenmikroskopie, Pressedienst der Wissenschaft FU Berlin, 2: 1974)

Für die Beurteilung der periostalen und endostalen Gefäßöffnungen hinsichtlich Anzahl, Größe und Form waren Vergrößerungen zwischen 50- und 500-fach ausreichend. Um Osteozytenlakunen bzw. oberflächliche Resorptionslakunen eindeutig von Gefäßöffnungen abzugrenzen wurden bei jeder Spezies zusätzlich 2000- und 5000-fache Vergrößerungen beider Oberflächen dokumentiert.

Von insgesamt 20 Präparaten wurden 10 für die periostale und die gleiche Anzahl für die endostale Darstellung verwendet. Von jedem Präparat wurden 2-3 Bildserien mit 50-, 100-, 200- und 500-facher Vergrößerung (insgesamt ca. 300 Bilder) hergestellt und die jeweils qualitativ beste Serie ausgewählt.

Zur Vereinfachung der Messungen und der Auswertung wurden vornehmlich die 100-fachen Vergrößerungen, die einem 1 mm^2 großen Rasterfeld entsprechen, herangezogen. Auf Photos von $83 \times 83 \text{ mm}^2$ Bildfläche wurden die Gefäßöffnungen in mm gemessen und in μ umgerechnet.

Von jeder Tierart wurden die periostalen und endostalen Gefäßöffnungen pro mm^2 ausgezählt, tabellarisch erfaßt und die Differenz zwischen der periostalen und endostalen Anzahl ermittelt. Die einzelnen Tierarten wurden miteinander verglichen. Der Durchmesser jeder einzelnen Gefäßöffnung wurde gemessen und das arithmetische Mittel

und die Standardabweichung aller Gefäßdurchmesser pro mm^2 berechnet.

Um Aussagen über die Eintrittswinkel der periostalen und endostalen Gefäße bei den verschiedenen Spezies zu erhalten wurden die Formen der Gefäßöffnungen unterteilt in rund, oval und länglich. Sie wurden ausgezählt und tabellarisch erfaßt.

3. ERGEBNISSE

3.1. Zahl der Gefäßöffnungen an den Knochenoberflächen

Schwein und Kalb haben periostal und endostal etwa die gleiche Anzahl von Gefäßöffnungen (Abb. 4a u. 4b).

Zwischen den beiden Oberflächen besteht diesbezüglich kein deutlicher Unterschied.

Zwar weist der Hammel (Abb. 5a u. 5b) an beiden Oberflächen mehr Gefäßöffnungen als Schwein und Kalb auf, aber auch bei ihm findet man keinen gravierenden Unterschied zwischen der periostalen und endostalen Anzahl.

Bei den Hunden (Abb. 6a u. 6b) gibt es periostal auffallend wenig Gefäßöffnungen. Endostal ist die Anzahl deutlich höher und erreicht etwa die Werte von Schwein und Kalb (Tabb.1, Abb. 4-5).

BE	Anzahl der Gefäßöffnungen pro mm ²		Differenz
	periostal	endostal	endost. zu periost.
Kalb 1 2	11 13	12 17	+ 1 + 4
Schwein 3 4 5	15 12 17	7 17 17	- 8 + 4 0
Hammel 6 7	22 21	27 21	+ 5 0
Hund 8 9 10	0 2 2	12 4 18	+ 12 + 2 + 16

TABELLE 1: Anzahl der Gefäßöffnungen pro mm² bei den untersuchten Tieren.

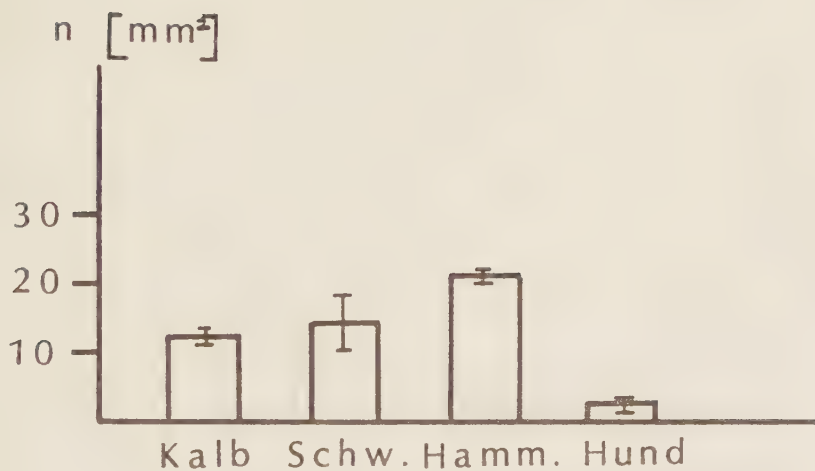


Abb. 7

Anzahl der periostalen Gefäße (n) pro mm^2 als Mittelwert pro Tierart. Ein Millimeter auf der Ordinate entspricht einem Gefäß

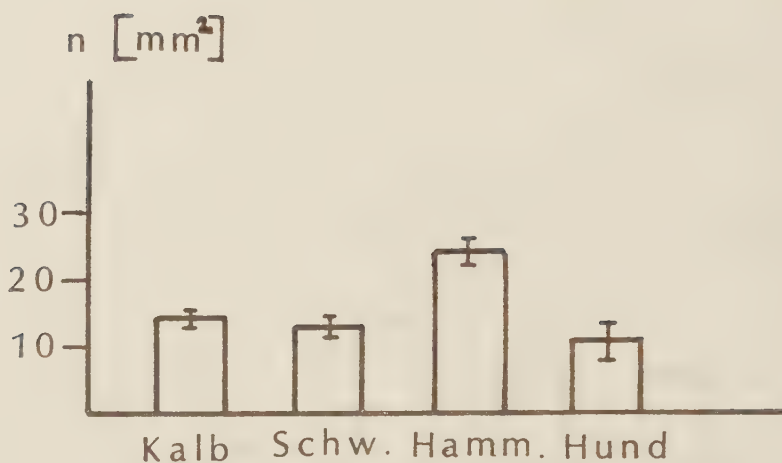


Abb. 8

Anzahl der endostalen Gefäße (n) pro mm^2 als Mittelwert pro Tierart. Ein Millimeter auf der Ordinate entspricht einem Gefäß.

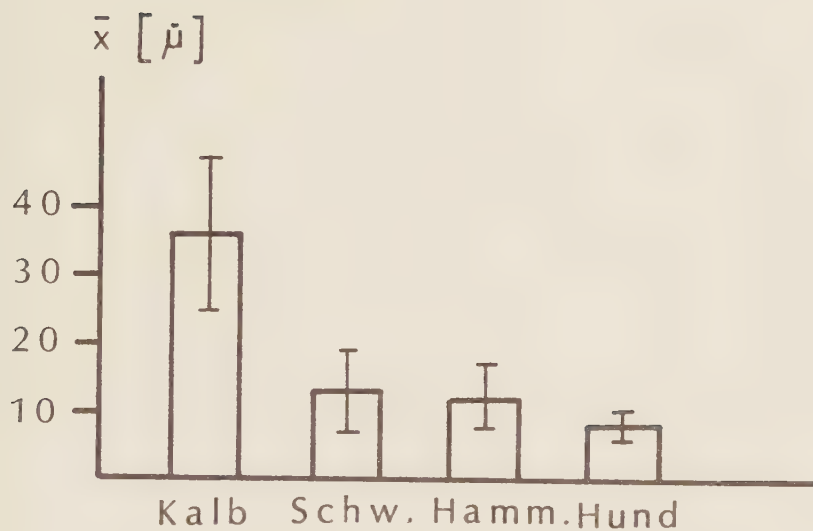


Abb. 9

Durchmesser der periostalen Gefäße ($\bar{\mu}$) als Mittelwert pro Tierart. Ein Millimeter auf der Ordinate entspricht einem $\bar{\mu}$.

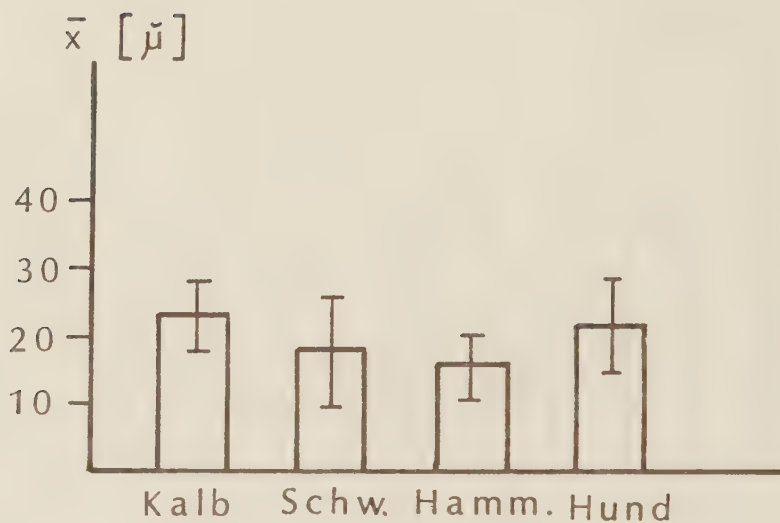


Abb. 10.

Durchmesser der endostalen Gefäße ($\bar{\mu}$) als Mittelwert pro Tierart. Ein Millimeter auf der Ordinate entspricht einem $\bar{\mu}$.

3.2. Größe der Gefäßöffnungen

Für die Darstellung in Tabelle 2 wurden bei den drei untersuchten Schweinen Mittelwerte errechnet und zu einer Gruppe (Sch) zusammengefaßt, da es sich um gleich alte Tiere derselben Spezies handelt.

Für die Abbildungen 4-7 wurde zugunsten einer besseren Übersicht aus den in Tabelle 2 angegebenen Einzelwerten pro Spezies Mittelwerte errechnet und graphisch dargestellt.

Wie aus Tabelle 2 und Abb. 9 u. 10 hervorgeht, hat das Kalb periostal im diaphysären Knochen die größten Gefäßöffnungen. Periostal sind bei den untersuchten Tieren die Kaliberschwankungen größer als endostal. Die Größe der endostalen Gefäßöffnungen liegt im Mittelwert etwa im selben Bereich. Nur beim Kalb sind die Durchmesser der periostalen Gefäßöffnungen größer als die endostalen. Alle anderen untersuchten Tiere haben endostal größere Gefäßöffnungen als periostal. Am deutlichsten ist dieser Unterschied beim Hund. Während er periostal relativ kleine bzw. gar keine Öffnungen hat, erreicht er endostal annähernd die Werte vom Kalb.

BE	PERIOSTAL				ENDOSTAL			
	$\bar{x}(\text{mm})$	$\bar{x}(\mu)$	S(μ)	N	$\bar{x}(\text{mm})$	$\bar{x}(\mu)$	S(μ)	N
1	2,7	33	15	11	1,8	22	13	12
2	3,3	40	30	13	2,1	25	8	17
SCH	1,1	13	12	14	1,5	18	16	13
6	1,0	12	7	22	1,2	14	8	27
7	1,0	12	9	21	1,5	18	9	21
8	0	0	0	0	1,1	13	10	12
9	0,8	10	0	2	3	36	16	4
10	1,25	15	3	2	1,6	19	16	18

TABELLE 2: Durchmesser der Gefäßöffnungen. $\bar{x}(\text{mm})$ = Mittelwert der Gefäßdurchmesser; $\bar{x}(\mu)$ = Mittelwert der Gefäßdurchmesser in natürlicher Größe (μ); S = Standardabweichung in μ ; N = Fallzahl

3.3. Form der Gefäßöffnungen

Beim Hammel gibt es periostal überwiegend längliche Gefäßöffnungen, endostal überwiegend runde. Bei den anderen Tieren sind diese Verhältnisse ähnlich, aber weniger ausgeprägt (Tab. 3).

BE	PERIOSTAL			ENDOSTAL		
	rund	oval	länglich	rund	oval	länglich
1	0	8	3	4	8	0
2	4	7	2	15	2	0
Sch	9	25	10	8	16	16
6	1	5	16	11	16	0
7	0	3	18	7	14	0
8	0	0	0	3	8	1
9	0	1	1	2	2	0
10	0	2	0	0	10	8

TABELLE 3: Formen der Gefäßöffnungen bei einem Kippwinkel der Präparate von 45°.

3.4. Unentkalkte Dünnschnitte zur histologischen Beurteilung der Knochenstruktur

Während die Knochenquerschnitte von Schwein, Kalb und Hammel gut vergleichbar bezüglich der Struktur sind (starke periostale und querschnittzentrale Areale mit plexiformer Primärstruktur, schmale endostale Osteonenschicht mit sekundärem Charakter, jedoch auch noch mit eingestreuten Primärosteonen), weicht der Hund morphologisch auffällig davon ab, da er durchweg über den gesamten Querschnitt Sekundärosteone zeigt (Abb. 11). Derselbe Befund liegt in den Knochenlängsschnitten vor.

Das bedeutet, daß die hier gefundenen quantitativen Verhältnisse der Gefäßeintrittsöffnungen an den Knochenoberflächen durch die zur Kontrolle angefertigten, unabhängigen histologischen Befunde bestätigt werden.

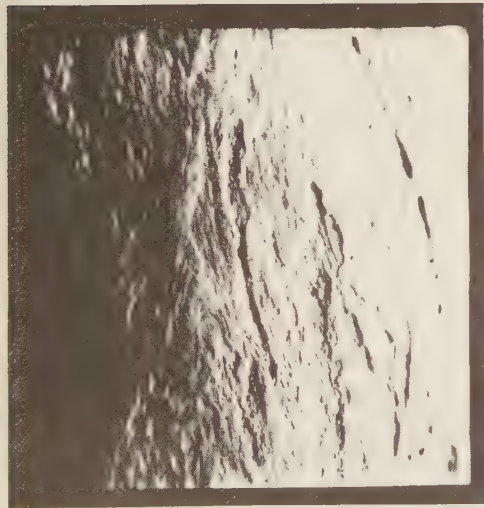
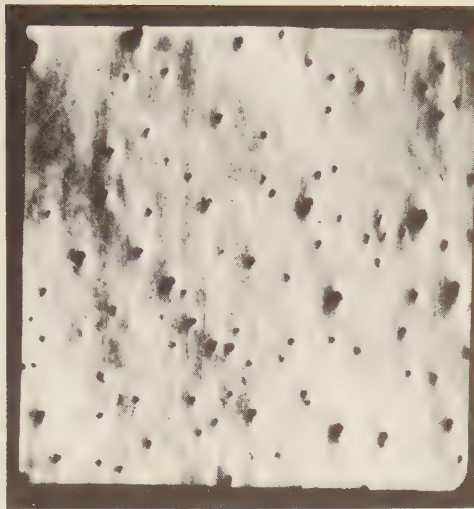
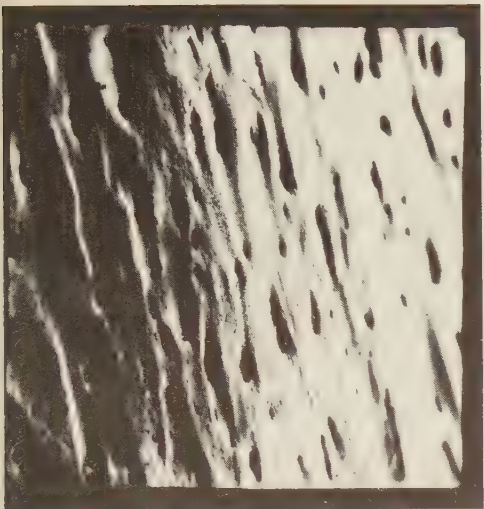


Abb. 4 bis 5 RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE BILDER.

Ausschnitte aus der mittleren dorsomedialen Tibiadiaphyse bei Hammel und beim Boxer.

Abb. 4a Periostale Oberfläche beim Hammel (x 50)

Abb. 4b Gleichartige Abbildung, endostale Oberfläche.

Abb. 5a Periostale Oberfläche beim Boxer (x 50)

Abb. 5b Gleichartige Abbildung, endostale Oberfläche.

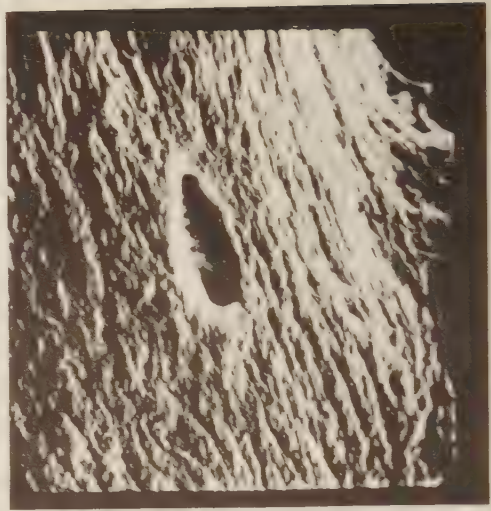
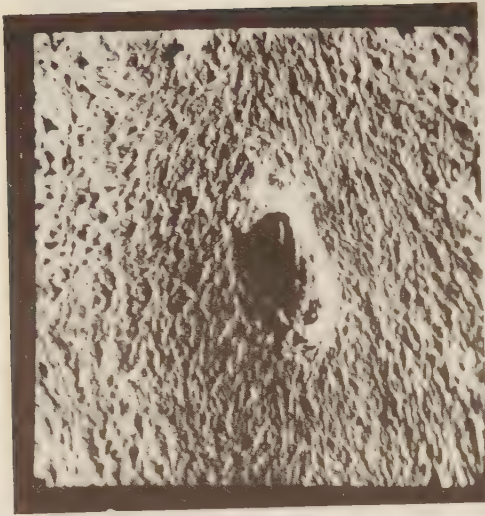
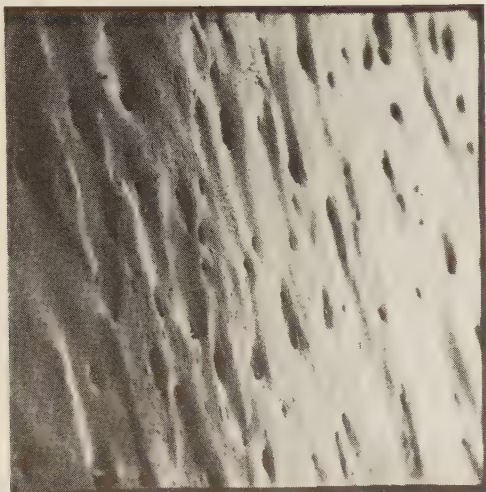


Abb. 6 RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE BILDER
Ausschnitte aus der mittleren dorsomedialen Tibiadiaphyse, endostale
Oberflächen

Abb. 6a Osteocytäre Lakune beim Hammel

Abb. 6b Osteocytäre Lakune beim Boxer.

Vergrößerung bei beiden Abbildungen x 2000



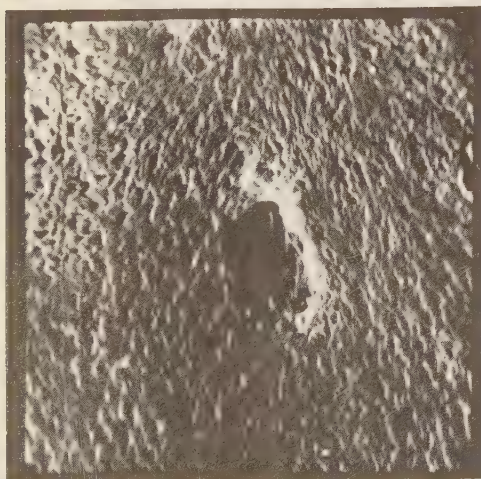
HAMMEL, 12 Monate

50-fache Vergrößerung,
periostal



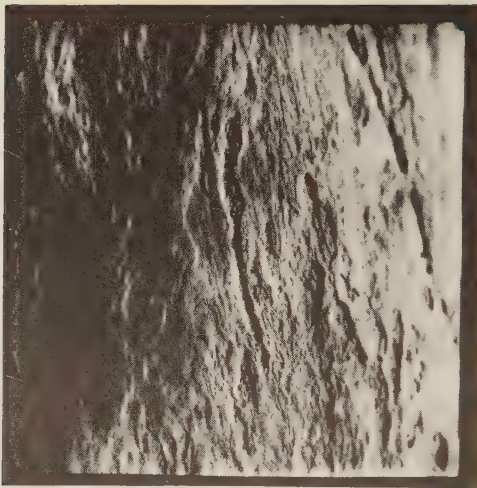
HAMMEL, 2 Jahre

50-fache Vergrößerung,
endostal



HAMMEL, 12 Monate

2000-fache Vergrößerung,
endostal



BOXER, 9 Jahre,
50-fache Vergrößerung,
periostal



BOXER, 9 Jahre
50-fache Vergrößerung,
endostal



BOXER, 9 Jahre,
2000-fache Vergrößerung,
endostal

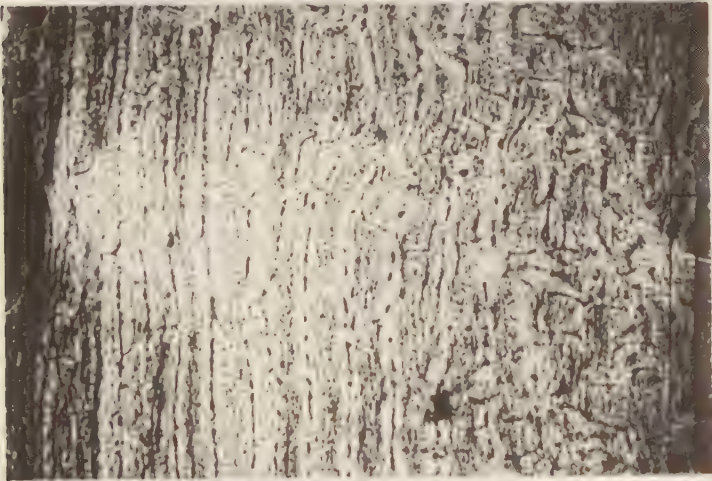


Abb. 11a bis 11c: Unentkalkte, ungefärbte Dünnschnitte der mittleren dorsomedialen Tibiadiaphyse

Abb. 11a: SCHWEIN; Abb. 11b: KALB; Abb. 11c: HAMMEL

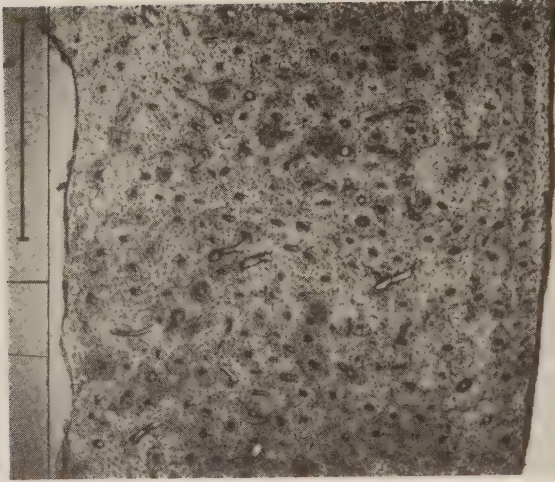


Abb. 11d

Unentkalkter, ungefärbter Dünnschnitt der mittleren dorsomedialen Tibiadiaphyse beim Boxer. Während die Knochenschnitte 11a bis 11c der Huftiere isomorph sind, unterscheidet sich der Hund durch seine sekundäre Osteonenstruktur.

4. DISKUSSION

In der vorliegenden Arbeit wird am Beispiel der Tibia die Frage untersucht, ob sich die periostalen und endostalen Gefäßöffnungen der Tibia-Diaphyse bei verschiedenen Spezies unterscheiden. Als Untersuchungsgut wurden vier verschiedene Tierarten, insgesamt zehn Tiere zufällig untersucht. Es wurde davon ausgegangen, daß ein nutritives Gefäßverteilungsmuster an Knochenoberflächen durch Anzahl, Form und Größe der Gefäßöffnungen ausreichend beschrieben werden kann. Wegen der augenfälligen Isomorphie der histomorphologischen Strukturbilder innerhalb der einzelnen Spezies konnte darauf verzichtet werden, eine größere Anzahl von Tieren zu untersuchen. Die Anzahl der Gefäßöffnungen nimmt bei den untersuchten Tieren periostal in der Reihenfolge Hammel, Schwein, Kalb, Hund ab, wobei der Hund auffallend wenig bzw. keine Gefäßöffnungen aufweist. Endostal findet man beim Hammel pro mm² die meisten Gefäßöffnungen und der Hund erreicht annähernd die Werte von Schwein und Kalb.

Die Durchmesser der Gefäßöffnungen werden periostal in der Reihenfolge Kalb, Schwein, Hammel, Hund kleiner. Endostal verkleinern sich die Gefäßdurchmesser in der Reihenfolge Kalb, Hund, Schwein, Hammel.

Bei der Bewertung der unterschiedlichen Formen der Gefäßöffnungen muß berücksichtigt werden, daß zugunsten einer guten Bildqualität ausschließlich die Verhältnisse bei einem Kippwinkel der Präparate von 45° erfaßt wurden (siehe 2.4.). Unter diesen Verhältnissen stellen sich

die periostalen Gefäßöffnungen beim Hammel auffallend länglich dar. Die bei einem Kippwinkel von 27° hergestellten Kontrollaufnahmen zeigen eine mehr ovale Form dieser Öffnungen. Nach den vorliegenden Ergebnissen kann davon ausgegangen werden, daß bei den untersuchten Tieren die periostalen Gefäße überwiegend schräg und die endostalen überwiegend waagerecht in den Knochen eintreten.

Um in der vorliegenden Arbeit statistisch relevante Messungen zu erhalten, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

1. Jede Spezies muß durch mehrere zufällig ausgewählte Individuen vertreten sein.
2. Es dürfen ausschließlich an definierter Stelle entnommene Knochenproben verwendet werden.

Der zweiten Forderung konnte voll entsprochen werden, die exakte Erfüllung der ersteren war etwas problematischer. Da aus der Literatur keine Arbeiten über den Vergleich periostaler und endostaler Gefäßeintritte in die Tibia-Diaphyse bei verschiedenen Spezies bekannt sind, erschien es sinnvoll Exemplare mehrerer Spezies zu untersuchen um einen Überblick zu gewinnen. Weitere Untersuchungen mit weniger Spezies aber mit mehreren Tieren dürften zweckmäßig und weiterführend sein.

Anhand des umfangreichen Bildmaterials und durch 50 bis 500-fache Vergrößerungen konnten Gefäßöffnungen eindeutig von anderen Strukturen unterschieden werden. Mit

ihrem wesentlich größeren Durchmesser als beispielsweise osteocytäre Lakunen, konnten sie häufig schon ab der 50-fachen Vergrößerung ausgemacht werden, während eine eindeutige Aussage über osteocytäre Lakunen frühestens ab der 500-fachen Vergrößerung möglich war.

Die quantitativen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stehen in Übereinstimmung mit den histomorphologischen Kontrollbefunden, die knöcherne Primär- und Sekundärstrukturen mit einem jeweils unterschiedlichen Gefäßverteilungsmuster aufweisen.

CURRY, der die Gefäßverteilungsmuster knöcherner Primärstrukturen, in sog. "laminar" bone mit denen von Havers'scher Sekundärosteonenstruktur verglich (5), fand heraus, daß Primärstrukturen ein netzartiges Gefäßverteilungsmuster aufweisen, das engmaschiger als das der Sekundärstrukturen ist und pro Volumeneinheit mehr Raum einnimmt. Außerdem ist das Vorkommen von Sekundärstrukturen nach seinen Ergebnissen altersabhängig und mit einem höheren Alter korreliert.

Andere Untersuchungen haben ebenfalls gezeigt (1), daß knöcherne Primärstrukturen ein plexiformes Gefäßverteilungsmuster aufweisen. Sekundärstrukturen haben ein bäumchenartiges. Nach diesen Untersuchungen befinden sich im selben Knochen desselben Individuums periostal mehr vom Dickenwachstum geprägte Strukturen als endostal.

Ferner sind Art und Alter eines Individuums für das Vorhandensein der verschiedenen Strukturen verantwortlich. Huftiere, z.B. Schafe besitzen periostal ausge dehnte Areale an Primärstrukturen mit dem für sie typischen plexiformen Gefäßnetz. Ältere Tiere, z.B. Schäferhunde weisen periostal Sekundärstrukturen auf und sind mit dem Menschen strukturell vergleichbar.

Die in der vorliegenden Arbeit festgestellte Tendenz endostaler Gefäße waagrecht in den Knochen einzutreten ist mit der Vorstellung eines bäumchenartigen, sich vom Markraum her zentrifugal ausbreitenden Gefäßmusters gut vereinbar. Wie gezeigt werden konnte, sind außer beim Kalb die Durchmesser der periostalen Gefäßöffnungen kleiner als die der endostalen. Eine mögliche Erklärung dafür wäre das netzartige Gefäßverteilungsmuster der äußeren periostalen Primärstruktur. Wie unter 3.3. dargestellt, müßten diese Gefäße überwiegend schräg in den Knochen eintreten.

Wie die vorgenannten Untersuchungen weiter ergaben (1), weisen junge Tiere sowohl periostal als auch endostal Primärstrukturen mit plexiformen Gefäßnetz auf. Ältere Tiere mit ihrem höheren Anteil an Havers'scher Sekundär- osteonenstruktur besitzen ein sich baumartig aufzweigendes Gefäßmuster, das u.a. für die schlechteren Knochenbruchheilungen bei älteren Individuen verantwortlich gemacht wird. Es hat im Vergleich zur Primärstruktur

weniger Anastomosen und ist weniger vernetzt. Daher können Strombahnunterbrechungen durch Traumaeinwirkungen schlechter kompensiert werden als beim Jugendlichen, der mehr Primärstruktur besitzt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen zusätzlich, daß im diaphysär-periostalen Bereich bei alten Hunden minimale, teilweise gar keine Gefäßversorgung vorhanden ist. Die Vergleichbarkeit zwischen der Gruppe der Hunde mit den anderen Gruppen scheint wegen des unterschiedlichen Alters der Tiere nicht gegeben.

In der vorliegenden Arbeit kam es jedoch darauf an, an extremen Beispielen die Unterschiede der Gefäßverteilung an den Knochenoberflächen zu untersuchen und aufzuzeigen. Die erzielten Ergebnisse korrelieren positiv zu den histomorphologisch gefundenen Strukturunterschieden (2). Hinzuzufügen ist nach diesen Untersuchungen, daß junge Hunde - und damit den anderen Gruppen vergleichbare Altersstufen dieser Spezies - periostal mehr Primärstrukturen neben endostalen Skundärstrukturen aufweisen, so daß auch hier periostal mehr Gefäßeintritte beobachtet werden können.

Im Hinblick auf die klinische Praxis kann aus der vorliegenden Untersuchung geschlossen werden, daß die periostale Versorgung wesentlich für die vasculäre Kompensation von Traumafolgen beim wachsenden, jungen Individuum sein kann. Die in der Literatur niedergelegten histomorphologischen Befunde werden hier morphologisch bestätigt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Von vier verschiedenen Spezies, insgesamt 10 Tieren wurden an definierten Stellen aus der Tibia-Diaphyse Knochenproben entnommen, präpariert und periostal und endostal unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) verglichen. Zur vergleichenden Kontrolle der erhobenen Befunde wurden von jeder Spezies Mikroschnitte zur lichtmikroskopischen Betrachtung hergestellt.

Die in der vorliegenden Untersuchung erfaßten Zielgrößen: Anzahl, Größe und Form der periostalen und endostalen Gefäßöffnungen wurden deskriptiv und quantitativ in Form von Tabellen und graphischen Darstellungen ausgewertet.

Als wesentliches Ergebnis ist festzustellen, daß die erhobenen morphometrischen Befunde mit der Verteilung der histomorphologischen Primär- und Sekundärstruktur übereinstimmen. Die zur Struktur korrelierenden Gefäßverteilungsmuster sind bei Hammel, Schwein und Kalb vergleichbar, unterscheiden sich aber deutlich vom Gefäßverteilungsmuster des Hundes, bei dem wiederum dem Menschen vergleichbare Verhältnisse vorliegen.

Die Gefäßkanäle an den periostalen und endostalen Oberflächen unterscheiden sich in Form, Zahl und Größe strukturabhängig, d.h. Tiere, die große Querschnittsareale an Primärstrukturen besitzen (Schaf, Kalb und Schwein) weisen mehr periostale Gefäßeintritte auf.

Tiere mit großen Querschnittsarealen an Sekundärstrukturen (Hunde) haben ein aus dem Markraum sich nach außen verzweigendes bäumchenartiges Gefäßverteilungsmuster.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. EITEL F., SEILER H., SCHWEIBERER L.:
Vergleichende morphologische Untersuchungen
zur Übertragbarkeit tierexperimenteller Er-
gebnisse auf den Regenerationsprozeß des
menschlichen Röhrenknochens.
Unfallheilkunde (1981) 84: 225-264
2. EITEL F., KLAPP F., JACOBSON W., SCHWEIBERER L.:
Bone regeneration in animals and in man.
Arch Orthop Traumat Surg (1981) 99: 59-64
3. ROSENBAUER K.A., KEGEL B.H.:
Rasterelektronenmikroskopische Technik.
Georg Thieme Verlag Stuttgart 1978
4. PRESSEDIENST WISSENSCHAFT FU Berlin:
Rasterelektronenmikroskopie 2: 1974
5. CURREY J.D.:
Differences in the blood-supply of bones
of different histological types.
Quarterly Journal of Microscopical Science,
Vol. 101, part 3, pp. 351-370, Sept. 1960

7. DANKSAGUNG

Meinem Doktorvater, Herrn Priv.Doiz.Dr.med.F. EITEL,
danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und
für seine freundliche Unterstützung.

Gedankt sei Frau Dipl.Phys. SCHINKO für die Hilfe bei
den Arbeiten am Rasterelektronenmikroskop in der Ana-
tomischen Anstalt (Em.Direktor Prof.Dr.med. WETZSTEIN)
der Universität München.

Für die Überlassung der Hundeextremitäten möchte ich mich
bei Herrn OA Dr.med.vet. GEISEL vom Patholog. Institut
der hiesigen Universitätstierklinik bedanken. Ihm ist es
zu verdanken, daß diese experimentelle Arbeit ohne
"Tierversuche" zustande kam.

Für die hilfreichen Anregungen bei der Durchsicht des
statistischen Teils meiner Arbeit bedanke ich mich bei
Herrn Dr. LEHN.

Frau RUNGE danke ich für ihre unermüdliche Unterstützung
und für die Übernahme der Schreibarbeiten.

Ich danke allen die zum Gelingen der Arbeit beigetragen
haben.

LEBENS L A U F

Am 27. Mai 1946 wurde ich in MARKTREDWITZ/Ofr.
als Sohn des Kaufmanns Herbert WILHELM und
seiner Ehefrau Alma WILHELM, geb. Häußinger,
geboren.

Ich besuchte ab 1952 die Volksschule in Marktredwitz
und begann daran anschließend eine Lehre als Maschi-
nenschlosser, die ich 1965 mit einem Gesellenbrief
abschloß.

Durch einen Wohnungswechsel nach München erwarb ich
am Münchenkolleg 1972 das Zeugnis der Reife. Von
1972 bis 1976 studierte ich an der LMU München Physik
und Chemie und daran anschließend begann ich mit dem
Studium der Medizin. Das Erste Staatsexamen bestand
ich 1979, das Zweite Staatsexamen 1981 und erhielt
1982 nach bestandenem Dritten Staatsexamen die Appro-
bation als Arzt.

Als Assistenzarzt bin ich seit 1982 tätig, derzeit in
der Rheumaklinik in Bad Aibling.

Ich bin seit 1976 mit Hisa Wilhelm-Fukuda, Opern- und
Konzertsängerin verheiratet.

München, November 1985

